


P-1537.4

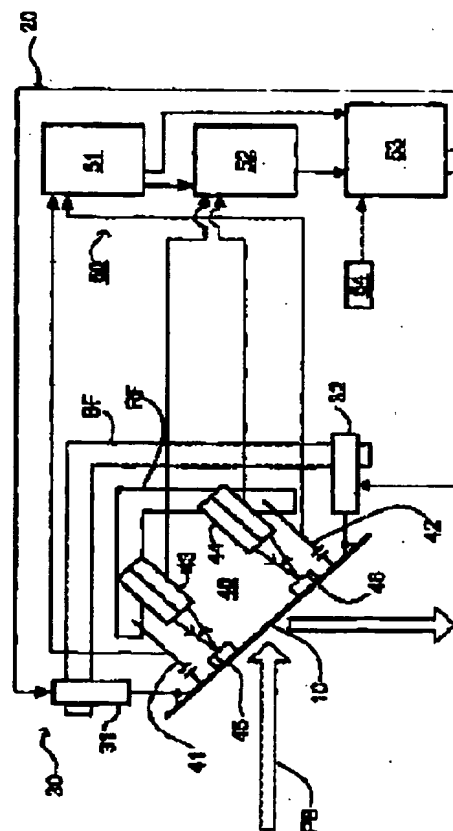
LITHOGRAPHIC PROJECTION APPARATUS AND METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE USING IT**Patent number:** JP2001351855**Publication date:** 2001-12-21**Inventor:** LOOPSTRA ERIK ROELOF; VAN DIJSSELDONK ANTONIUS JOHANNES J**Applicant:** ASM LITHOGRAPHY BV**Classification:****- international:** H01L21/027; G01B21/00; G01B21/22; G02B7/198; G03F9/00**- european:****Application number:** JP20000403605 20001128**Priority number(s):****Also published as:** US6593585 (B1)

Report a data error here

Abstract of JP2001351855

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an improved projection apparatus having positioning system capable of accurately arranging a reflective optical element such as a mirror superior as the wavelength of the beam of radiation becomes short and requiring more accurate arrangement than a refracting optical element in terms of convergence and control of beam of radiation of lithographic projection apparatus.

SOLUTION: Position of a mirror 10 in the projected beam PB of radiation is measured by use of absolute position sensors 41 and 42, and then variation of the position is measured by use of relative position sensors 43 and 44. The position of the mirror 10 is controlled by a controller 50 and drive means 30 in accordance with the value measured. The use of both sensors makes the positioning system 20 possible to accurately arrange or stabilize the mirror 10 in failures of redundant calibration or initialization of the mirror 10 to cancel any vibration of the mirror 10.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-351855

(P2001-351855A)

(43) 公開日 平成13年12月21日 (2001. 12. 21)

(51) Int.Cl.⁷ 識別記号

H 0 1 L 21/027

G 0 1 B 21/00

21/22

G 0 2 B 7/198

G 0 3 F 9/00

F I

C 0 1 B 21/00

21/22

C 0 3 F 9/00

H 0 1 L 21/30

テマコード* (参考)

A 2 F 0 6 9

2 H 0 4 3

H 5 F 0 4 6

S 1 6 A

S 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数20 O L 外国語出願 (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-403605 (P2000-403605)

(22) 出願日 平成12年11月28日 (2000. 11. 28)

(31) 優先権主張番号 9 9 2 0 4 0 4 3 . 6

(32) 優先日 平成11年11月30日 (1999. 11. 30)

(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (E P)

(71) 出願人 599043866

エイエスエム リトグラフィー ベスロー
テン フエンノートシャップ
オランダ国フェルトホーフェン, デ ルン
1110

(72) 発明者 エリク ロエロフ ローブストラ

オランダ国 ヘーゼ、アトラス 7

(72) 発明者 アントニアス ヨハネス ヨセファス パ
ン ディジセルドンク

オランダ国 ハベルト、ペンプロエク 22

(74) 代理人 100066692

弁理士 浅村 皓 (外3名)

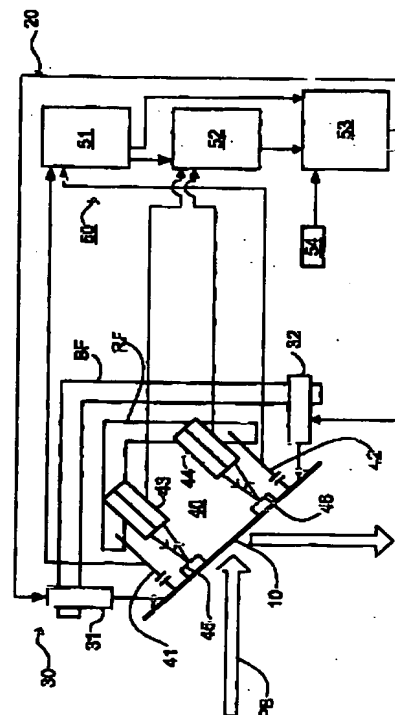
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リソグラフィ投影装置およびこれを使ったデバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 リソグラフィ投影装置の放射線の短波長化に伴いその集束および制御には屈折性光学素子よりミラーのような反射性素子が有利であるが、後者は前者より高精度に配置することを要する。それを可能にする改良した位置決めシステムを有する投影装置を提供する。

【解決手段】 投影ビーム P B 中にあるミラー 1 0 の位置を最初に絶対位置センサ 4 1、4 2 を使って測定し、その後相対位置センサ 4 3、4 4 を使って位置の変化を測定する。この測定値に従って、制御器 5 0 と駆動手段 3 0 によってミラー 1 0 の位置を制御する。両方式のセンサを使うことによって、この位置決めシステム 2 0 は、ミラー 1 0 を冗長な校正または初期化手順なしに正確に配置または安定化し、ミラー 1 0 のあらゆる振動を相殺できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビーム（PB）を供給するように配置構成された照明システム（IL）；マスク（MA）を保持するように配置構成された第1物体テーブル（MT）；基板

（W）を保持するように配置構成された第2物体テーブル（WT）；および前記マスクの被照射部分を前記基板の目標部分（C）上に結像するように配置構成された投影システム（PL）を含む投影装置において、前記照明システムおよび前記投影システムの少なくとも1つが1つ以上の反射性光学素子（10）と該反射性光学素子の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方を動的に制御するための位置決め手段（20）を含む装置。

【請求項2】 請求項1による装置において、更に、上記反射性光学素子（10）の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方の変化を測定し、並びにそれを示す1つ以上に位置信号を出力するように配置構成された検知手段（40）を含み；前記位置決め手段（20）が：駆動制御信号に応じて前記反射性光学素子の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方を変えるように配置構成された駆動手段（30）；および前記反射性光学素子の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方の測定した前記変化を補正するように、前記駆動制御信号を発生するために1つ以上の前記位置信号に反応する制御器（50）を含む装置。

【請求項3】 請求項2による装置において、前記検知手段（40）は：前記反射性光学素子（10）の1つの位置および配向のいずれか一方または両方を測定し、並びにそれを示す絶対位置信号を出力するように配置構成された絶対位置検知手段（41、42）；および1つの前記反射性光学素子の前記位置および配向のいずれか一方または両方の変化を測定し、並びにそれを示す相対位置信号を出力するように配置構成された相対位置検知手段（43、44）を含む装置。

【請求項4】 請求項3に記載の装置において、前記駆動手段（30）は、前記駆動制御信号に応じて1つの前記反射性光学素子（10）の前記位置および配向のいずれか一方または両方を変えるように配置され；並びに前記制御器（50）は、1つの前記反射性光学素子を所望の位置および配向のいずれか一方または両方に設定および維持するように前記駆動制御信号を発生するべく、前記絶対および相対位置信号に反応する装置。

【請求項5】 請求項3または請求項4に記載の装置において、更に、基準フレーム（RF）を含み、および前記検知手段（40）が前記基準フレームに対する1つ以上の前記反射性光学素子（10）の位置および配向のいずれか一方または両方を測定するように配置構成された装置。

【請求項6】 請求項5に記載の装置において、前記絶

対位置検知手段（41、42）および相対位置検知手段（43、44）の少なくとも1つが前記基準フレーム（RF）に取り付けられた第1部分および前記物体に取り付けられた第2部分を含む装置。

【請求項7】 請求項3から請求項6までの何れか1項に記載の装置において、前記制御器（50）が前記絶対位置信号に応じて1つの前記反射性光学素子（10）の初期位置および配向のいずれか一方または両方を測定し、その後前記相対位置信号に応じて1つの該反射性光学素子の位置および配向のいずれか一方または両方を制御するようにされた装置。

【請求項8】 請求項3から請求項7までの何れか1項に記載の装置において、前記相対位置検知手段（43、44）が前記反射性光学素子（10）の位置および配向のいずれか一方または両方の変化に対して前記絶対位置検知手段（41、42）より高い測定帯域幅を有する装置。

【請求項9】 請求項3から請求項8までの何れか1項に記載の装置において、前記相対位置検知手段（43、44）が前記反射性光学（10）の位置および配向のいずれか一方または両方の変化に対して前記絶対位置検知手段（41、42）より大きい測定範囲を有する装置。

【請求項10】 請求項3から請求項9までの何れか1項に記載の装置において、前記絶対位置検知手段（41、42）が容量または誘導検知手段である装置。

【請求項11】 請求項3から請求項10までの何れか1項に記載の装置において、前記相対位置検知手段（43、44）が干渉計型または干渉型検知手段である装置。

【請求項12】 請求項2に記載の装置において、前記検知手段（40）が前記投影ビーム（PB）と別の放射線検知ビームを1つ以上の前記反射性光学素子（10）に沿って導き；および1つ以上の該反射性光学素子に反射されたとき前記検知ビームの位置を測定するように配置構成された装置。

【請求項13】 請求項12に記載の装置において、更に、基準フレーム（RF）を含み、および前記検知手段（40）が前記基準フレームに対する1つ以上の前記反射性光学素子（10）の位置および配向のいずれか一方または両方を測定するように配置構成された装置。

【請求項14】 請求項12または請求項13に記載の装置において、前記検知ビームがレーザー放射線のビームである装置。

【請求項15】 請求項12、請求項13または請求項14に記載の装置において、前記検知手段（40）が前記検知ビームの位置を測定するように配置された2次元検出器を含む装置。

【請求項16】 請求項2から請求項15までの何れか1項に記載の装置において、駆動手段（30）が少なくとも1つの低剛性アクチュエータを含む装置。

【請求項17】 請求項15に記載の装置において、前記アクチュエータがローレンツ力アクチュエータである装置。

【請求項18】 請求項1から請求項17までの何れか1項に記載の装置において、前記照明システム（IL）が約50nm未満の波長を有する放射線の投影ビーム（PB）を供給するようにされた装置。

【請求項19】 リソグラフィ投影装置を使ったデバイスの製造方法において：放射線の投影ビーム（PB）を供給するように配置構成された照明システム（IL）；マスク（MA）を保持するように配置構成された第1物体テーブル（MT）；基板（W）を保持するように配置構成された第2物体テーブル（WT）；および前記マスクの被照射部分を前記基板の目標部分（C）上に結像するように配置構成された投影システム（PL）を含む投影装置を使うデバイスの製造方法において、パターンを有するマスクを前記第1物体テーブルに設ける段階；放射線感応層を備える基板を前記第2物体テーブルに設ける段階；前記マスクの部分を照射し、該マスクの前記照射部分を前記基板の前記目標部分上に結像する段階；および前記照明システムおよび前記投影システムの1つに含まれる1つ以上の反射性光学素子（10）の位置および配向のいずれか一方または両方を動的に制御する段階を含む方法。

【請求項20】 請求項19に記載の方法によって製造したデバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビームを供給するための照明システム；マスクを保持するための第1物体テーブル；基板を保持するための第2物体テーブル；および上記マスクの被照射部分を上記基板の目標部分上に結像するための投影システムを含む投影装置に関する。

【0002】簡単のために、投影システムを、以後“レンズ”と呼称し得るが；この用語は、例えば、屈折性光学素子、反射性光学素子、および反射屈折性光学素子を含む、種々の型式の投影システムを包含するように広く解釈すべきである。照明システムもこれらの原理の何れかに従って放射線の投影ビームを指向し、付形または制御するために作用する素子を含んでもよく、そのような素子も以下で集合的または単独に“レンズ”と呼称し得る。その上、この第1および第2物体テーブルを、それぞれ、“マスクテーブル”および“基板テーブル”と呼ぶかも知れない。その中に結像すべきパターンが形成されるかまたは形成し得る、一般的にはマスクと称呼される、他の構造体または装置を保持し得るか保持する何れかの構造体または装置として、マスクテーブルは使用されるべきである。更に、このリソグラフィ装置は、二つ以上のマスクテーブルおよび二つ以上の基板テーブル

のいずれか一方または両方を有する型式のものでよい。そのような“多段”装置では、追加のテーブルを並列に使ってもよく、または準備工程を1つ以上のステージ（stages）で実施し、一方、1つ以上の他のステージを露出用に使ってもよい。

【0003】

【従来の技術】リソグラフィ投影装置は、例えば、集積回路（IC）の製造に使うことができる。そのような場合、マスク（レチクル）がICの個々の層に対応する回路パターンを含んでもよく、このパターンを、エネルギー感応性材料（レジスト）の層で塗被した基板（シリコンウエハ）の目標領域（1つ以上のダイを含む）上に結像することができる。一般的に、1枚のウエハが一度に1つずつマスクを介して引き続いて照射される目標領域に隣接する全ネットワークを含む。リソグラフィ投影装置の一つの型式では、全マスクパターンを目標領域上に一度に露出することによって各目標領域が照射され；このような装置を普通ウエハステッパと呼称する。代替装置—これは普通ステップ・アンド・スキャン装置と呼称する—では、このマスクパターンを投影ビームで与えられた基準方向（“走査”方向）における投影ビームの下で順次走査し、一方、一般的に、投影システムが倍率M（一般的に <1 ）であり、基板テーブルを走査する速度Vが、倍率M掛けるマスクテーブルを走査する速度であるので、基板テーブルをこの方向に平行または非平行に同期して走査することによって各目標領域を照射する。ここに説明したようなリソグラフィ装置に関する更なる情報は、例えば、国際特許出願W097/33205から収集することができる。

【0004】一般的に、この種の装置は、単一第1物体（マスク）テーブルおよび単一第2物体（基板）テーブルを含んだ。しかし、少なくとも二つの独立に可動の基板テーブルがある機械が利用可能になりつつある；例えば、国際特許出願W098/28665およびW098/40791に記載されている多段装置を参照されたい。そのような多段装置の背後の基本動作原理は、第1基板テーブルがその上にある第1基板の露出を許すために投影システムの下にある間に、第2基板テーブルが載荷位置へ移動でき、先に露出した基板を排出し、新しい基板を取上げ、この新しい基板に幾つかの初期測定を行い、および次に第1基板の露出が完了するとすぐ、この新しい基板を投影システムの下での露出位置へ移送するために待機し；そこからこのサイクルを繰返すことである。この様にして、機械のスループットをかなり向上させることが可能であり、それが次に機械の所有コストを改善する。

【0005】結像できる形態の寸法を減少させるためには、照明ビームの波長を短波長化することが望ましい。そのような目的で、約200nm未満、例えば、193nm、157nmまたは126nmの波長を使うことが

提案されている。この照明放射線の波長の、例えば、約10ないし20nmへの、更なる低下も考えられている。特にそのような波長は、ミラーのような、反射性光学系によって一層都合よく集束および制御できる。しかし、リソグラフィ装置のミラーは、何れかの回転配向誤差があれば全下流光路長によって拡大されるので、屈折性素子に比べて、特に高精度に配置しなければならない。超短波長放射線を使う装置では、この光路長が2m程度以上であってもよい。

【0006】例えば、オーバレイ性能を良くするために、マスクの被照射部分の像の位置を基板レベルで与えられた位置に約1nm未満の誤差(e)で安定に保つことが必要ことがある(添付図面の図3参照)。もし、ミラーと基板(W)の間の距離が2mであるなら、このシステムを仕様内に保つための最大許容回転誤差は、 28×10^{-9} ($1 \times 10^{-9} \text{ m} / 2 \text{ m} = \tan 28 \times 10^{-9}$)である。例えば、ミラーに対して、反射角は入射角に等しいので、ミラーの位置の回転誤差(da)は、反射ビームの方向の誤差の2倍にもなる。それで、このミラーは、 14×10^{-9} 以上の精度で配置しなければならない。もし、この0.1m程度の幅のミラーが片側に回転点を有するのであれば、その回転点は、 0.024 nm ($\tan 14 \times 10^{-9} \times 0.1 = 2.4 \times 10^{-11}$)内に配置しなければならない。明らかに、そのようなミラーを配向しなければならない精度は、極端に高く、それで像精度に対する仕様が増すと、増すだけである。X、YおよびZの位置に対する精度要件は、そのような誤差が基板レベルではあまり拡大されないで、それ程厳しくない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、放射線または投影システムのミラーを正確且つ動的に配置するために改良した位置決めシステムを有するリソグラフィ投影装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の第1態様によれば、リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビームを供給するように配置構成された照明システム；マスクを保持するように配置構成された第1物体テーブル；基板を保持するように配置構成された第2物体テーブル；および上記マスクの被照射部分を上記基板の目標部分上に結像するように配置構成された投影システムを含む投影装置において、上記照明システムおよび上記投影システムの少なくとも1つが1つ以上の反射性光学素子並びに上記反射性光学素子の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方を動的に制御するための位置決め手段を含む装置が提供される。

【0009】

【発明の実施の形態】1つ以上の反射性光学素子は、ミラー、反射性格子、反射性フィルタ等のような単一素

子、またはそのような素子と他の種類の素子との若しくは他の種類の素子のない組合せを含んでもよい。本発明では、反射性光学系の位置を装置の動作中連続的にまたは繰返し制御し、それによって振動および機械的衝撃、並びに熱的および機械的ドリフトの影響を軽減できる。

【0010】投影装置は、更に、上記反射性光学素子の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方の変化を測定し、並びにそれを示す1つ以上に位置信号を出力するように配置構成された検知手段を含み；上記位置決め手段が：駆動制御信号に応じて上記反射性光学素子の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方を変えるように配置構成された駆動手段；および上記反射性光学素子の1つ以上の位置および配向のいずれか一方または両方の上記測定した変化を補正するように、上記駆動制御信号を発生するために上記1つ以上の位置信号に反応する制御器を含むのが好ましい。

【0011】本発明の好適実施例では、本リソグラフィ装置が基準フレームおよび該基準フレームに対する上記反射性光学系の位置を測定するための検知手段を含む。

【0012】また、上記検知手段は：上記反射性光学素子の1つの位置および配向のいずれか一方または両方を測定し、並びにそれを示す絶対位置信号を出力するように配置構成された絶対位置検知手段；並びに上記1つの反射性光学素子の上記位置および配向のいずれか一方または両方の変化を測定し、並びにそれを示す相対位置信号を出力するように配置構成された相対位置検知手段；を含むのが好ましい。上記駆動手段は、上記駆動制御信号に応じて上記1つ反射性光学素子の上記位置および配向のいずれか一方または両方を変えるように配置してもよく；並びに上記制御器は、上記1つの反射性光学素子を所望の位置および配向のいずれか一方または両方に設定および維持するように上記駆動制御信号を発生するために、上記絶対および相対位置信号に反応してもよい。

【0013】上記反射性光学系の絶対位置および配向のいずれか一方または両方を、毎回この装置を初期化する較正なしに測定できる、絶対位置検知手段、並びに該反射性光学系の位置および配向のいずれか一方または両方の移動を高帯域幅および広い測定範囲のいずれか一方または両方で検出できる、相対位置検知手段の両方を使うことによって、上記位置決めシステムは、該反射性光学系を冗長な較正または初期化手順なしに正確に配置または安定化させ、該反射性光学系の何れの振動をも相殺できる。上記絶対検知手段を使って初期位置を決定した後に、上記駆動手段は主として該相対検知手段または干渉型エンコーダからの高周波出力に基づいて制御される。

【0014】上記絶対検知手段は、1つ以上の容量または誘導センサを含むのが好ましく、上記相対位置検知手段は、1つ以上の干渉計を含むのが好ましい。

【0015】更にもう1つの好適実施例では、上記検知手段が上記投影ビームと別の放射線検知ビームを上記1

つ以上の反射性光学素子に沿って導き；および上記1つ以上の反射性光学素子に反射されたとき上記検知ビームの位置を測定するように配置構成されている。

【0016】本発明の更なる態様によれば、リソグラフィ投影装置で：放射線の投影ビームを供給するように配置構成された照明システム；マスクを保持するように配置構成された第1物体テーブル；基板を保持するように配置構成された第2物体テーブル；および上記マスクの被照射部分を上記基板の目標部分上に結像するように配置構成された投影システムを含む投影装置を使うデバイスの製造方法において、パターンを有するマスクを上記第1物体テーブルに設ける段階；放射線感応層を備える基板を上記第2物体テーブルに設ける段階；上記マスクの部分を照射し、該マスクの上記照射部分を上記基板の上記目標部分上に結像する段階；および上記照明システムおよび上記投影システムの1つに含まれる1つ以上の反射性光学素子の位置および配向のいずれか一方または両方を動的に制御する段階を含む方法が提供される。

【0017】本発明によるリソグラフィ投影装置を使う製造プロセスでは、マスクの中のパターンを、少なくとも部分的に放射線感応材料（レジスト）の層で覆われた基板上に結像する。この結像段階の前に、上記基板は、例えば、下塗り、レジスト塗布およびソフトベークのような、種々の処理を受け得る。露出後、基板は、例えば、露出後ベーク（PEB）、現像、ハードベークおよび結像形態の測定／検査のような、他の処理を受け得る。この一連の処理は、デバイス、例えばICの個々の層をパターン化するための基礎として使用する。そのようにパターン化した層は、次に、エッチング、イオン注入（ドーピング）、金属化処理、酸化処理、化学・機械的研磨等のような、全て個々の層の仕上げを意図した種々の処理を受け得る。もし、幾つかの層が必要ならば、全処理またはその変形を各新しい層に反復しなければならないだろう。結局、デバイスアレイ（an array of devices）が基板（ウエハ）上にできる。次に、これらのデバイスをダイシングまたは鋸引のような手法によって互いに分離し、そこから個々のデバイスをキャリアに取り付け、ピンに連結する等できる。そのようなプロセスに関する更なる情報は、例えば、ビータ・バン・ザントの“マイクロチップの製作：半導体加工の実用ガイド”、第3版、マグロウヒル出版社、1997年、ISBN0-07-067250-4という本から得ることができる。

【0018】本明細書でICの製造における本発明による装置の使用を特別に参照してもよいが、そのような装置には、他の多くの可能な用途があることを明確に理解すべきである。例えば、それを集積光学システム、磁気領域（magnetic domain）メモリ用誘導検出パターン、液晶ディスプレイパネル、薄膜磁気ヘッド等の製造に使ってもよい。当業者は、そのような代替

用途の関係では、本明細書で使う“レチクル”、“ウエハ”または“ダイ”という用語の何れも、それぞれ、より一般的な用語“マスク”、“基板”および“目標領域”で置換えられると考えるべきであることが分るだろう。

【0019】本文書で、“放射線”および“ビーム”という用語は、例えば、紫外放射線、EUVおよびX線を含む、あらゆる種類の電磁放射線を包含するために使用する。“ミラー”および“反射器”という用語も同義に使い、文脈が別に決めなければ、完全に、部分的にまたは選択的に反射性であろうが、何か他の光学的、例えば、屈折または回折の、特性があろうがなかろうが、何れの反射性素子をも包含する意図である。文脈が容認する場合、この用語は、散乱板のような非鏡面反射器にも適用してよい。位置という用語は、X、YおよびZ位置並びに回転位置Rx、RyおよびRzの何れかまたは全てを指すと広く解釈すべきである。

【0020】以下に実施例および添付の図面を参照して本発明を説明する。これらの図面で類似の部品は、類似の参照番号で示す。

【0021】

【実施例1】図1は、本発明によるリソグラフィ投影装置を概略的に描く。この装置は：放射線（例えば、UVまたはEUV線）の投影ビームPBを供給するための放射線システムLA、IL；マスクMA（例えば、レチクル）を保持するためのマスクホルダを備え、このマスクを部材PLに関して正確に位置決めするために第1位置決め手段PMに連結された第1物体テーブル（マスクテーブル）MT；基板W（例えば、レジストを塗被したシリコンウエハ）を保持するための基板ホルダを備え、この基板を部材PLに関して正確に位置決めするために第2位置決め手段PWに連結された第2物体テーブル（基板テーブル）WT；マスクMAの被照射部分を基板Wの目標領域、または部分C上に結像するための投影システム（“レンズ”）PL（例えば、反射または反射屈折システム）を含む。

【0022】放射線システムは、放射線のビームを作る放射源LA（例えば、Hgランプ、エキシマレーザ、レーザ若しくは放電プラズマ源、または貯蔵リング若しくはシンクロトロン）の電子ビームの経路の周りに設けたアンジュレータを含む。このビームは出来たビームPBが入射瞳およびマスクに所望の照度分布を与えるような方法で収集されるように、照明システムILに含まれる種々の光学部品に通される。

【0023】ビームPBは、次に、マスクテーブルMT上のマスクホルダに保持されているマスクMAに入射する。マスクMAによって選択的に反射されてから、ビームPBは、レンズPLを通過し、それがビームPBを基板Wの目標領域C上に集束する。干渉計変位測定手段IFおよび第2位置決め手段PWの助けをかりて、基板テ

ーブルWTは、例えば、異なる目標領域CをビームPBの経路に配置するように、正確に動くことができる。同様に、この干渉計変位測定手段IFおよび第1位置決め手段PMを使ってマスクMAをビームPBの経路に関して正確に配置することができる。一般的に、物体テーブルMT、WTの運動は、図1にはっきりは示さないが、長ストロークモジュール（粗位置決め）および短ストロークモジュール（微細位置決め）の助けをかりて実現できる。

【0024】図示する装置は、二つの異なるモードで使うことができる：

1. ステップモードでは、マスクテーブルMTを本質的に固定して保持し、全マスク像を目標領域C上に一度に（即ち、単一“フラッシュ”で）投影する。次に基板テーブルWTをxおよび/またはy方向に移動して異なる目標領域CをビームPBで照射できるようにする；

2. 走査モードでは、与えられた目標領域Cが単一“フラッシュ”では露出しないことを除いて、本質的に同じシナリオを適用する。その代りに、マスクテーブルMTが与えられた方向（所謂“走査方向”、例えば、x方向）に速度vで動き得て、それで投影ビームPBがマスク像の上を走査せしめられ；同時に、基板テーブルWTが同時に同じまたは反対方向に速度 $V = Mv$ で動かされ、このMはレンズPLの倍率（典型的には、 $M = 1/4$ または $1/5$ ）である。この様にして、比較的大きい目標領域Cを、解像度について妥協する必要なく、露出できる。

【0025】本実施例は反射性マスクを使うが、本発明を透過性マスクを有するリソグラフィ装置にも使えることが直ちに判るだろう。図示する実施例は、放射線および投影システムにも反射性素子を使うが、しかし、幾つかの屈折性素子を使ってもよい。

【0026】図2は、照明光学系ILまたは投影光学系PLに含まれるミラー10の一つおよびその関連する位置決めシステム20を示し、このシステムは、駆動システム30、位置検知システム40および制御システム50を含む。ミラー10は、明確さのために、入射放射線PBに対して鋭角の平坦ミラーセットとして示す。しかし、ミラー10は、視射角ミラーでもよく、および放射線ビームPBの所望の成形または集束を行うために顕微鏡を必要とせずにあるいは顕微鏡を使用して付形してもよい。

【0027】図2に示すように、ミラー10は、駆動装置31、32に取付けてあり、それらの装置が位置決めシステム30の一部を形成し、それが今度はベースフレームBFに取付けてある。ベースフレームBFは、非常に堅固であるのが望ましく、例えば、リソグラフィ装置1のベースプレートBPに取付けるか、その一部であってもよい。駆動装置31、32は、ミラーの位置、および特に配向を正確に制御するために使う。明確にするた

めに、図2には二つの駆動装置しか示さないが、6自由度の何れかまたは全てでミラーの位置を制御するためにそれより多くのまたは少ない駆動装置を設けてもよいことが判るだろう。

【0028】本実施例では、駆動装置31、32がローレンツ力モータを含み、その一般的作動原理は、例えば、ヨーロッパ特許出願EP1001512およびそれに相当する米国特許出願US09/435,638に記載されていて、それらを参考文献として本明細書に援用する。低剛性並びに必要な反応性および出力を有する、その他の適当なアクチュエータまたはモータも使ってもよい。

【0029】検知システム40は、絶対センサ41、42および相対センサ43、44を含み、それらは全て基準フレームRF上に取り付けてある。基準フレームRFは、空気マウント、ばね、またはその他の防振手段によって支持された非常に堅いフレームで、装置の座標系の基準となる。基準フレームRFは、装置の他の部分で使う基準フレームの一部でも、それに連結してもよい。基準フレームRFを、例えば、駆動装置31、32の作動によって誘起するかも知れない、ベースフレームBFの振動から絶縁することが重要である。

【0030】絶対センサ41、42は、各使用前に較正する必要なく、1以上の自由度のミラー10の絶対位置を測定する。装置の最初の製造でのおよび定期保守での較正が必要または望ましいかも知れないが、これらの絶対センサは、較正なしに製作運転中または一連の運転中作動できるべきである。本実施例では、これらの絶対センサが既知の種類の容量センサまたは誘導センサである。明快さの目的で二つの絶対センサを図示するが、所望の自由度で位置情報を提供するために必要に応じてより多くまたは少なく使ってもよい。

【0031】相対センサ43、44は、ミラーの運動、即ち、位置および配向のいずれか一方または両方の変化を測定し、それで較正を要し、ミラーの絶対位置を測定するために使用可能である前に、このミラーを所定の位置に正確に設定することが必要である。本実施例では、相対センサ43、44がミラー10に取り付けたそれぞれの基準格子45、46の位置を測定する、干渉計をベースとするセンサである。絶対センサ同様、必要に応じて2つより多いまたは少ないセンサを使ってもよい。

【0032】干渉計センサ43、44は、容量または誘導センサ41、42より高い感度および/または帯域幅および/または範囲でミラーの運動を測定することができ、従って装置の作動中継続的に相対位置信号を供給するために使う。絶対センサ41、42は、装置の初期セットアップ中、および投影すなわち照明システムが作動していないとき、どんな期間の経過後でも装置を再初期化するとき絶対位置信号を提供するために使う。それらは、干渉計センサ43、44を検定または較正するた

めに定期的に使ってもよい。

【0033】絶対センサ41、42および相対センサ43、44からの生信号を、制御システム50の一部を形成する、それぞれの第1および第2信号処理回路51、52へ供給する。これらの信号処理回路51、52は、センサが提供する信号の適切な処理および検定を行い、それらを必要に応じて出力するために適当な座標系に変換する。ミラー10の絶対位置を表す、第1信号処理回路51からの処理した位置信号は、これらの相対位置信号を較正するために第2信号処理回路52へ供給してもよい。モータ制御回路53が信号処理回路51、52からの処理した位置信号および設定点回路54からの設定点データも受け、適当な駆動信号を決め、それらをモータ31、32に提供してミラー10を望む通りに配置しおよび何れの振動の影響をも相殺する。

【0034】本実施例の制御システムは、ミラーの位置の測定および所望の位置からの偏差の相殺に基づくフィードバック制御戦略を使う。制御システムは、その上、フィードフォワード制御を行うために、その他のセンサまたはリソグラフィ装置の全体的制御システムからの情報を使ってもよい。設定点回路54が与える設定点は、もし、ミラー10がこの光学系の静的構成部品であれば一定位置でもよく、またはもし、ミラー10がこのリソグラフィ装置の何れかの可変ビーム成形または位置決め機能に於いて一役を果たすならば可変位置でもよい。

【0035】

【実施例2】本発明の第2実施例では、第1実施例用に説明したような位置検知システム40だけが投影光学系PLの中の、ミラー10のような、反射性光学素子の各々と関連する。この位置決め検知システムの代替実施例は、絶対センサだけ、または相対センサだけを含んでもよい。そうすると、種々のミラーの位置および配向のいずれか一方また両方の変化を作動中に測定でき、そのような変化による基板レベルでの仮想誤差を導出できる。それは、種々のミラーの位置および配向がそのような導出に対して十分正確に知ることができるからである。

【0036】導出した仮想結像誤差を補正するために、この投影システムのミラーの1つ（またはそれ以上）を第1実施例用に説明したような駆動システム30に連結する。投影光学系PLの全てのミラーの種々の位置および/または回転誤差をそれらが関連する位置検知システム40が測定する通りに補正するために、制御システムがその関連するミラーの位置および配向のいずれか一方または両方の必要な変化を導出する。このため、種々の位置検知システム40からの生位置信号を制御システムに供給する。制御システム内の信号処理回路がこれらの信号の適切な処理を行い、それらを必要に応じて、駆動システム30に連結した1つ（またはそれ以上）のミラー10のために適当な座標系に変換する。

【0037】投影システムに含まれる反射性素子の中で

位置および配向のいずれか一方または両方が最も厳しい反射性素子に駆動システムを設けることを選択してもよい。更に、位置および配向が厳しくない反射性素子用の位置検知システムを不要にしてもよい。

【0038】第2実施例の代りの実施例は、マスクから基板の方へ（または逆に）投影システムPLの種々の反射性素子を通過する光のビーム、好ましくはレーザービームを供給する検知システムを含む。これらの種々の反射性素子の位置および/または配向偏差は、レーザービームが投影システムを通過したときその位置に変化を生じ、それを四象限検出器（四セル）、2次元位置検知装置またはCCDカメラのような適切な2次元検出器を使って検出できる。継続的フィードバックの可能性をもたらすために、2次元検出器を投影システムに関して基準フレームRF上に固定して取り付けることができ、またレーザービームがこのマスク上のそのマスクパターンのすぐ次の位置から反射されるかも知れず、その場合はこの2次元検出器を投影ビームの外に取り付けることができる。

【0039】第1実施例、第2実施例および上記代替実施例の場合のような、反射素子の位置および回転偏差の継続的フィードバックは、高、中および低周波領域での位置および/または回転変化を補正する可能性を提供する。例えば、ミラーマウントの機械的クリープによって起る場合のような、低周波領域での偏差および補正にしか関心がない場合は、基板テーブルに取付けた2次元検出器を使い、結像工程中の選択した時点でレーザービームの位置をチェックすることが選択肢である。これらの反射性素子の位置および/または回転偏差によって起る位置誤差は、マスクおよび/または基板テーブルの位置決めでそれらを補償することによって補正してもよい。

【0040】上に本発明の特別の実施例を説明したが、本発明を説明したのとは別の方法で実施してもよいこと、およびこの説明が本発明を限定することを意図しないことが判るだろう。本発明の位置決めシステムをリソグラフィ投影装置のミラーに適用するものとして説明した。しかし、本発明は、基板（ウエハ）またはマスク（レチクル）段階のような、リソグラフィ装置の他の部品に、または正確な動的な位置決めが必要な他の装置の部品にも適用してよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるリソグラフィ投影装置を描いた図である。

【図2】本発明の第1実施例によるミラー用位置決めシステムの線図である。

【図3】基板での像位置へのミラー位置の回転誤差の影響を説明する際に使う線図である。

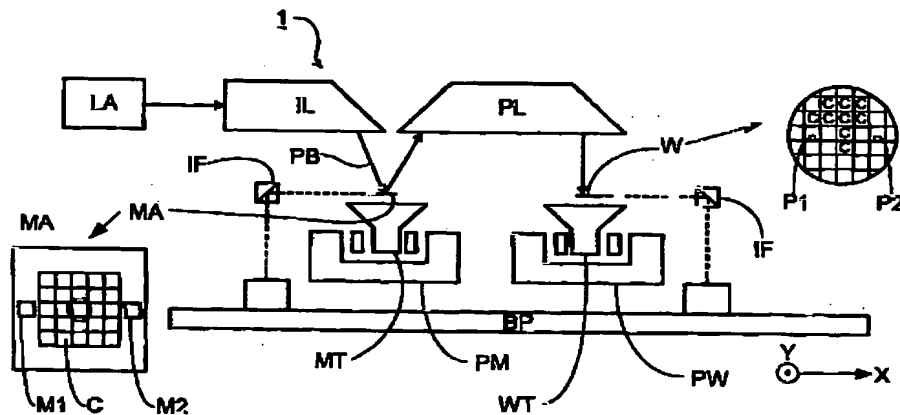
【符号の説明】

- 10 反射性光学素子
- 20 位置決め手段
- 30 駆動手段

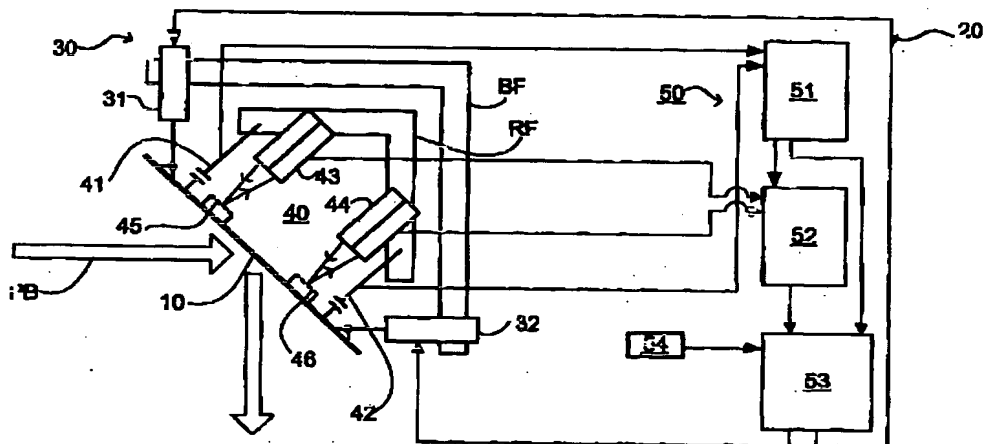
40 検知手段
 41 絶対位置検知手段
 42 絶対位置検知手段
 43 相対位置検知手段
 44 相対位置検知手段
 50 制御器
 C 基板の目標部分
 IL 照明システム

MA マスク
 MT 第1物体テーブル
 PB 投影ビーム
 PL 投影システム
 RF 基準フレーム
 W 基板
 WT 第2物体テーブル

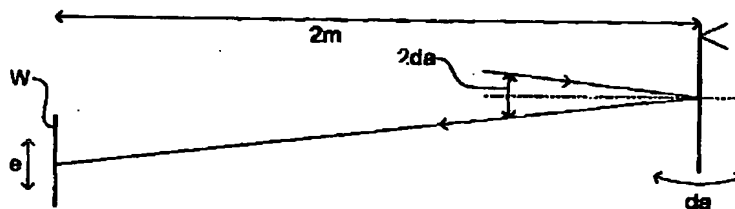
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

識別記号

F I

(参考)

G 0 2 B 7/18

B

F ターム(参考) 2F069 AA01 AA71 BB40 GG04 GG06
GG07 GG59 HH09 PP01
2H043 BB05 BC01
5F046 CB02 DA12 DB05

【外国語明細書】

1 Title of Invention

Lithographic Projection Apparatus with Positioning System
for use with Reflectors

2 Claims

1. A lithographic projection apparatus comprising:
an illumination system constructed and arranged to supply a projection beam of radiation;
a first object table constructed and arranged to hold a mask;
a second object table constructed and arranged to hold a substrate; and
a projection system constructed and arranged to image an irradiated portion of the mask onto a target portion of the substrate,
wherein at least one of said illumination system and said projection system comprises one or more reflective optical elements and positioning means for dynamically controlling a position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements.

2. Apparatus according to claim 1, further comprising sensing means constructed and arranged to determine a change in position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements, and to output one or more position signals indicative thereof; and wherein said positioning means comprises:
drive means constructed and arranged to change a position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements in response to a drive control signal; and
a controller responsive to said one or more position signals for generating said drive control signal so as to correct for said determined change in position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements.

3. Apparatus according to claim 2, wherein said sensing means comprises:
an absolute position sensing means constructed and arranged to measure a position and/or orientation of one of said reflective optical elements and to output an absolute position signal indicative thereof; and
a relative position sensing means constructed and arranged to measure changes in said position and/or orientation of said one reflective optical element and to output a relative position signal indicative thereof.

4. Apparatus according to claim 3, wherein said drive means is arranged to change said position and/or orientation of said one reflective optical element in response to said drive control signal; and said controller is responsive to said absolute and relative position signals for generating said drive control signal so as to set and maintain said one reflective optical element in a desired position and/or orientation.

5. Apparatus according to claim 3 or 4, further comprising a reference frame and wherein said sensing means is constructed and arranged to determine a position and/or orientation of said one or more reflective optical elements relative to said reference frame.

6. Apparatus according to claim 5, wherein at least one of said absolute and relative position sensing means comprises a first part mounted on said reference frame and a second part mounted on said object.

7. Apparatus according to any one of claims 3 to 6, wherein said controller is adapted to determine an initial position and/or orientation of said one reflective optical element in response to said absolute position signal and thereafter to control a position and/or orientation of said one reflective optical element in response to said relative position signal.

8. Apparatus according to any one of claims 3 to 7, wherein said relative position sensing means has a higher measurement bandwidth for changes in position and/or orientation of said reflective optics than said absolute position sensing means.

9. Apparatus according to any one of claims 3 to 8, wherein said relative position sensing means has a larger measuring range for changes in position and/or orientation of said reflective optics than said absolute position sensing means.

10. Apparatus according to any one of claims 3 to 9, wherein said absolute position sensing means is a capacitive or inductive sensing means.

11. Apparatus according to any one of claims 3 to 10, wherein said relative position sensing means is an interferometric or interferential sensing means.

12. Apparatus according to claim 2, wherein said sensing means is constructed and arranged to direct a sensing beam of radiation separate from said projection beam along said one or more reflective optical elements; and to determine a position of said sensing beam when having been reflected by said one or more reflective optical elements.

13. Apparatus according to claim 12, further comprising a reference frame and wherein said sensing means is constructed and arranged to determine a position and/or orientation of said one or more reflective optical elements relative to said reference frame.

14. Apparatus according to claim 12 or 13, wherein said sensing beam is a beam of laser radiation.

15. Apparatus according to claim 12, 13 or 14, wherein said sensing means comprises a two-dimensional detector arranged to determine the position of said sensing beam.

16. Apparatus according to any one of claims 2 to 15, wherein said drive means comprises at least one actuator with low stiffness.

17. Apparatus according to claim 15, wherein said actuator is a Lorentz-force actuator.

18. Apparatus according to any one of the preceding claims, wherein said illumination system is adapted to supply a projection beam of radiation having a wavelength less than about 50 nm.

19. A method of manufacturing a device using a lithographic projection apparatus comprising:

an illumination system constructed and arranged to supply a projection beam of radiation;

a first object table constructed and arranged to hold a mask;

a second object table constructed and arranged to hold a substrate; and

a projection system constructed and arranged to image an irradiated portion of the mask onto a target portion of the substrate; the method comprising the steps of:

providing a mask bearing a pattern to said first object table;

providing a substrate provided with a radiation-sensitive layer to said second object table;

irradiating portions of the mask and imaging said irradiated portions of the mask onto said target portions of said substrate; and

dynamically controlling a position and/or orientation of one or more reflective optical elements comprised in one of said illumination and projection systems.

20. A device manufactured according to the method of claim 19.

3 Detailed Description of Invention

The present invention relates to lithographic projection apparatus comprising:

an illumination system for supplying a projection beam of radiation;

a first object table for holding a mask;

a second object table for holding a substrate;

a projection system for imaging an irradiated portion of the mask onto a target portion of the substrate.

For the sake of simplicity, the projection system may hereinafter be referred to as the "lens"; however, this term should be broadly interpreted as encompassing various types of projection system, including refractive optics, reflective optics, and catadioptric

systems, for example. The illumination system may also include elements operating according to any of these principles for directing, shaping or controlling the projection beam of radiation, and such elements may also be referred to below, collectively or singularly, as a "lens". In addition, the first and second object tables may be referred to as the "mask table" and the "substrate table", respectively. The mask table should be taken as any structure or device that may or does hold another structure or device, generally referred to as a mask, in which a pattern to be imaged is or can be formed. Further, the lithographic apparatus may be of a type having two or more mask tables and/or two or more substrate tables. In such "multiple stage" devices the additional tables may be used in parallel, or preparatory steps may be carried out on one or more stages while one or more other stages are being used for exposures.

Lithographic projection apparatus can be used, for example, in the manufacture of integrated circuits (ICs). In such a case, the mask (reticle) may contain a circuit pattern corresponding to an individual layer of the IC, and this pattern can be imaged onto a target area (comprising one or more dies) on a substrate (silicon wafer) which has been coated with a layer of radiation-sensitive material (resist). In general, a single wafer will contain a whole network of adjacent target areas which are successively irradiated via the mask, one at a time. In one type of lithographic projection apparatus, each target area is irradiated by exposing the entire mask pattern onto the target area in one go; such an apparatus is commonly referred to as a wafer stepper. In an alternative apparatus — which is commonly referred to as a step-and-scan apparatus — each target area is irradiated by progressively scanning the mask pattern under the projection beam in a given reference direction (the "scanning" direction) while synchronously scanning the substrate table parallel or anti-parallel to this direction; since, in general, the projection system will have a magnification factor M (generally < 1), the speed V at which the substrate table is scanned will be a factor M times that at which the mask table is scanned. More information with regard to lithographic devices as here described can be gleaned from International Patent Application WO 97/33205.

In general, apparatus of this type contained a single first object (mask) table and a single second object (substrate) table. However, machines are becoming available in which there are at least two independently movable substrate tables; see, for example, the multi-stage apparatus described in International Patent Applications

WO 98/28665 and WO 98/40791. The basic operating principle behind such multi-stage apparatus is that, while a first substrate table is underneath the projection system so as to allow exposure of a first substrate located on that table, a second substrate table can run to a loading position, discharge an exposed substrate, pick up a new substrate, perform some initial metrology steps on the new substrate, and then stand by to transfer this new substrate to the exposure position underneath the projection system as soon as exposure of the first substrate is completed, whence the cycle repeats itself; in this manner, it is possible to achieve a substantially increased machine throughput, which in turn improves the cost of ownership of the machine.

0005 To reduce the size of features that can be imaged, it is desirable to reduce the wavelength of the illumination beam. To such end, it has been proposed to use wavelengths of less than about 200 nm, for example 193 nm, 157 nm or 126 nm. Further reductions in the wavelength of the illumination radiation, e.g. to about 10 to 20 nm, are also envisaged. Such wavelengths in particular are more conveniently focused and controlled by reflective optics, such as mirrors. However, mirrors in lithography apparatus must be positioned to especially high accuracy, as compared to refractive elements, because any rotational orientation errors are magnified by the total downstream optical path length. In an apparatus using very short wavelength radiation, the optical path length may be of the order of 2 m or more.

For example, to have a good overlay performance, it can be necessary to keep the position of an image of the irradiated portion of the mask stable at a given position at substrate level with an error (ϵ) of less than about 1 nm (see Figure 3 of the accompanying drawings). If the distance between the mirror and the substrate (W) is 2 m the maximum permissible rotational error of the reflected beam, to keep the system within specification, is 28×10^{-9} degrees ($1 \times 10^{-9} \text{ m} / 2 \text{ m} = \tan 28 \times 10^{-9}$). Since, for a mirror, the angle of reflection equals the angle of incidence, a rotational error ($\delta\alpha$) in the position of the mirror will give rise to twice as large an error in the direction of the reflected beam. Thus the mirror must be positioned with an accuracy of 14×10^{-9} degrees or better. If the mirror has a width of order 0.1 m and a rotating point at one side, that rotating point must be positioned to within 0.024 nm ($\tan 14 \times 10^{-9} \times 0.1 = 2.4 \times 10^{-11}$). Clearly the accuracy with which such a mirror must be orientated is extremely high and will only increase as the specification for image accuracy increases. The accuracy requirements for position in X, Y and Z are less demanding as such errors are magnified less at substrate level.

It is an object of the present invention to provide a lithographic projection apparatus having an improved positioning system to accurately and dynamically position a mirror in the radiation or projection systems.

According to a first aspect of the present invention, there is provided a lithographic projection apparatus comprising:

an illumination system constructed and arranged to supply a projection beam of radiation;

a first object table constructed and arranged to hold a mask;

a second object table constructed and arranged to hold a substrate; and

a projection system constructed and arranged to image an irradiated portion of the mask onto a target portion of the substrate,

wherein at least one of said illumination system and said projection system comprises one or more reflective optical elements and positioning means for dynamically controlling a position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements.

The one or more reflective optical elements may comprise a single element such as a mirror, a reflective grating, a reflective filter, etc. or a combination of such elements with or without other types of element. With the invention, the position of the reflective optics is controlled continuously or repeatedly during operation of the apparatus and the effects of vibrations and mechanical shocks, and thermal and mechanical drift thereby can be mitigated.

Preferably, the projection apparatus further comprises sensing means constructed and arranged to determine a change in position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements, and to output one or more position signals indicative thereof; and said positioning means comprises:

drive means constructed and arranged to change a position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements in response to a drive control signal; and

a controller responsive to said one or more position signals for generating said drive control signal so as to correct for said determined change in position and/or orientation of one or more of said reflective optical elements.

In a preferred embodiment of the invention, the lithographic apparatus includes a reference frame and sensing means for determining the position of said reflective optics relative to said reference frame.

Also preferably, the sensing means comprises:

an absolute position sensing means constructed and arranged to measure a position and/or orientation of one of said reflective optical elements and to output an absolute position signal indicative thereof; and

a relative position sensing means constructed and arranged to measure changes in said position and/or orientation of said one reflective optical element and to output a relative position signal indicative thereof.

Said drive means may be arranged to change said position and/or orientation of said one reflective optical element in response to said drive control signal; and said controller may be responsive to said absolute and relative position signals for generating said drive control signal so as to set and maintain said one reflective optical element in a desired position and/or orientation.

By the use of both absolute position sensing means, which can determine the absolute position and/or orientation of the reflective optics without calibration each time the apparatus is initialized, and relative position sensing means, which can detect movements in the position and/or orientation of the reflective optics with a high

bandwidth and/or larger measuring range, the positioning system can accurately position, or stabilize, the reflective optics without a lengthy calibration or initialization procedure, and counteract any vibrations in the reflective optics. After an initial position determination using the absolute sensing means, the drive means are controlled primarily on the basis of the high frequency output from the relative sensing means or interferential encoders.

The absolute sensing means preferably include one or more capacitive or inductive sensors and the relative position sensing means preferably include one or more interferometers.

In yet another preferred embodiment said sensing means is constructed and arranged to direct a sensing beam of radiation separate from said projection beam along said one or more reflective optical elements; and to determine a position of said sensing beam when having been reflected by said one or more reflective optical elements.

According to yet a further aspect of the invention there is provided a method of manufacturing a device using a lithographic projection apparatus comprising:
 an illumination system constructed and arranged to supply a projection beam of radiation;

a first object table constructed and arranged to hold a mask;
 a second object table constructed and arranged to hold a substrate; and
 a projection system constructed and arranged to image an irradiated portion of the mask onto a target portion of the substrate; the method comprising the steps of:
 providing a mask bearing a pattern to said first object table;
 providing a substrate provided with a radiation-sensitive layer to said second object table;
 irradiating portions of the mask and imaging said irradiated portions of the mask onto said target portions of said substrate; and
 dynamically controlling a position and/or orientation of one or more reflective optical elements comprised in one of said illumination and projection systems.

In a manufacturing process using a lithographic projection apparatus according to the invention a pattern in a mask is imaged onto a substrate which is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material (resist). Prior to this imaging step, the substrate may undergo various procedures, such as priming, resist coating and a soft bake. After exposure, the substrate may be subjected to other procedures, such as a post-exposure bake (PEB), development, a hard bake and measurement/inspection of the imaged features. This array of procedures is used as a basis to pattern an individual layer of a device, e.g. an IC. Such a patterned layer may then undergo various processes such as etching, ion-implantation (doping), metallisation, oxidation, chemo-mechanical polishing, etc., all intended to finish off an individual layer. If several layers are required, then the whole procedure, or a variant thereof, will have to be repeated for each new layer. Eventually, an array of devices will be present on the substrate (wafer). These devices are then separated from one another by a technique such as dicing or sawing, whence the individual devices can be mounted on a carrier, connected to pins, etc. Further information regarding such processes can be obtained, for example, from the book "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing", Third Edition, by Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4.

Although specific reference may be made in this text to the use of the apparatus according to the invention in the manufacture of ICs, it should be explicitly understood that such an apparatus has many other possible applications. For example, it may be employed in the manufacture of integrated optical systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, liquid-crystal display panels, thin-film magnetic heads, etc. The skilled artisan will appreciate that, in the context of such alternative applications, any use of the terms "reticle", "wafer" or "die" in this text should be considered as being replaced by the more general terms "mask", "substrate" and "target area", respectively.

In the present document, the terms "radiation" and "beam" are used to encompass all types of electromagnetic radiation, including, for example, ultraviolet radiation, EUV and X-rays. Also, the terms "mirror" and "reflector" are used synonymously and, unless the context otherwise determines, are intended to encompass any reflective element, whether wholly, partially or selectively reflective and whether or not it has any other optical, e.g. refractive or diffractive, properties. Where the context allows, the term may also apply to non-specular reflectors such as scatter plates. The term position should be interpreted broadly as referring to any or all of the X, Y, and Z positions and rotational positions Rx, Ry and Rz.

The present invention will be described below with reference to exemplary embodiments and the accompanying schematic drawings, in which like parts are indicated by like references.

Embodiment 1

Figure 1 schematically depicts a lithographic projection apparatus according to the invention. The apparatus comprises:

- a radiation system LA, IL for supplying a projection beam PB of radiation (e.g. UV or EUV radiation);

- a first object table (mask table) MT provided with a mask holder for holding a mask MA (e.g. a reticle), and connected to first positioning means PM for accurately positioning the mask with respect to item PL;

- a second object table (substrate table) WT provided with a substrate holder for holding a substrate W (e.g. a resist-coated silicon wafer), and connected to second positioning means PW for accurately positioning the substrate with respect to item PL;

a projection system ("lens") PL (e.g. a reflective or catadioptric system) for imaging an irradiated portion of the mask MA onto a target area, or portion, C of the substrate W.

The radiation system comprises a source LA (e.g. a Hg lamp, an excimer laser, a laser or discharge plasma source, or an undulator provided around the path of an electron beam in a storage ring or synchrotron) which produces a beam of radiation. This beam is passed along various optical components included in illumination system IL so that the resultant beam PB is collected in such a way as to give a desired illumination profile at the entrance pupil and the mask.

The beam PB subsequently impinges upon the mask MA which is held in a mask holder on a mask table MT. Having been selectively reflected by the mask MA, the beam PB passes through the lens PL, which focuses the beam PB onto a target area C of the substrate W. With the aid of the interferometric displacement measuring means IF and the second positioning means PW, the substrate table WT can be moved accurately, e.g. so as to position different target areas C in the path of the beam PB. Similarly, the interferometric displacement measuring means IF and the first positioning means PM can be used to accurately position the mask MA with respect to the path of the beam PB. In general, movement of the object tables MT, WT can be realized with the aid of a long-stroke module (course positioning) and a short stroke module (fine positioning), which are not explicitly depicted in Figure 1.

The depicted apparatus can be used in two different modes:

1. In step mode, the mask table MT is kept essentially stationary, and an entire mask image is projected in one go (i.e. a single "flash") onto a target area C. The substrate table WT is then shifted in the x and/or y directions so that a different target area C can be irradiated by the beam PB;
2. In scan mode, essentially the same scenario applies, except that a given target area C is not exposed in a single "flash". Instead, the mask table MT is movable in a given direction (the so-called "scan direction", e.g. the x direction) with a speed v , so that the projection beam PB is caused to scan over a mask image; concurrently, the substrate table WT is simultaneously moved in the same or opposite direction at a speed $V = Mv$, in which M is the magnification of the lens PL (typically, $M = 1/4$ or $1/5$). In this manner, a relatively large target area C can be exposed, without having to compromise on resolution.

Although the present embodiment employs a reflective mask, it will be immediately appreciated that the present invention may also be used in lithographic apparatus having transmissive masks. The depicted embodiment also employs reflective elements in the radiation and projections systems, however some refractive elements may also be used.

Figure 2 illustrates one of the mirrors 10 included in the illumination optics IL or projection optics PL and its associated positioning system 20, which comprises drive system 30, position sensing system 40 and control system 50. Mirror 10 is depicted for clarity as a flat mirror set at an acute angle to the incident radiation PB. However, it will be appreciated that mirror 10 may be a glancing incidence mirror and may be macro- or microscopically shaped to effect any desired shaping or focusing of the radiation beam PB.

0027 As shown in Figure 2, mirror 10 is mounted on drives 31, 32 which form part of the positioning system 30 and which in turn are mounted on base frame BF. Base frame BF is desirably very solid and may be attached to, or part of, the base plate BP of the lithographic apparatus 1, for example. Drives 31, 32 are used to accurately control the position, and particularly the orientation, of the mirror. For clarity, only two drives are illustrated in Figure 2 but it will be appreciated that more or fewer drives may be provided to control the position of the mirror in any or all of the six degrees of freedom.

In the present embodiment the drives 31, 32 comprise Lorentz-force motors, of which the general working principle, for instance, is disclosed in European patent application EP 1 001 512 and equivalent US patent application US 09/435,638, which are incorporated herein by reference. Other suitable actuators or motors having a low stiffness and the necessary responsiveness and power may also be employed.

The sensing system 40 comprises absolute sensors 41, 42 and relative sensors 43, 44, all of which are mounted on reference frame RF. Reference frame RF is a very stiff frame which is supported by air mounts, springs, or other vibration isolating means and forms the reference for the coordinate system of the apparatus. Reference frame RF may be part of or connected to reference frames used in other parts of the apparatus. It is important that reference frame RF is isolated from vibrations in the base frame BF, which may be induced, for example, by the operation of the drives 31, 32.

Absolute sensors 41, 42 measure the absolute position of the mirror 10 in one or more degrees of freedom, without the need for calibration before each use. Calibration on initial manufacturing of the apparatus and at periodic maintenance may be necessary or desirable but the absolute sensors should be able to operate for a fabrication run or series of runs without calibration. In the present embodiment the absolute sensors are capacitive sensors or inductive sensors of known type. Two absolute sensors are illustrated for the purpose of clarity, but more or fewer may be employed as necessary to provide position information in the desired degrees of freedom.

Relative sensors 43, 44 measure movement, i.e. changes in position and/or orientation, of the mirror and so would require calibration, involving the mirror being accurately set at a pre-determined position, before being usable to determine the absolute position of the mirror. In the present embodiment, relative sensors 43, 44 are interferometer-based sensors which measure the position of respective reference gratings 45, 46 mounted on the mirror 10. As with the absolute sensors, more or fewer than two sensors may be employed as required.

The interferometer sensors 43, 44 are capable of measuring movements of the mirror with a higher sensitivity and/or bandwidth and/or range than the capacitive or inductive sensors 41, 42 and therefore are used to provide continual relative position signals during operation of the apparatus. The absolute sensors 41, 42 are used to provide absolute position signals during initial setup of the apparatus and when re-initializing the apparatus after any period when the projection or illumination systems were not operating. They may also be used periodically to verify or recalibrate the interferometer sensors 43, 44.

Raw signals from the absolute sensors 41, 42 and the relative sensors 43, 44 are provided to respective first and second signal processing circuits 51, 52 forming part of the control system 50. The signal processing circuits 51, 52 perform appropriate processing and verification of the signals provided by the sensors and transform them as necessary to an appropriate coordinate system for output. The processed position signals from the first signal processing circuit 51, representing the absolute position of the mirror 10, may be provided to the second signal processing circuit 52 for calibration of the relative position signals. A motor control circuit 53 receives the processed position signals from

signal processing circuits 51, 52 and also set point data from set point circuit 54 and determines appropriate drive signals which are provided to motors 31, 32 to position mirror 10 as desired and counteract the effect of any vibrations.

The control system of the present embodiment uses a feedback control strategy based on measuring the position of the mirror and counteracting any deviation from the desired position. The control system may in addition make use of other sensors or information from the overall control system of the lithographic apparatus to effect a feed-forward control. The set point provided by set point circuit 54 may be a constant position if the mirror 10 is a static component of the optics or may be a variable position if the mirror 10 has a role in any variable beam shaping or positioning function of the lithographic apparatus.

Embodiment 2

In a second embodiment of the invention only a position sensing system 40 as described for the first embodiment is associated with each of the reflective optical elements, such as mirrors 10, in the projection optics PL. Alternative embodiments of the positioning sensing system may only comprise absolute or only relative sensors. Changes in position and/or orientation of the various mirrors can then be monitored during operation and an imaginary error at substrate level due to such changes can be derived, since the positions and orientations of the various mirrors will be known accurately enough for such a derivation.

To correct for the derived imaginary imaging error, one (or more) of the mirrors in the projection system is (are) connected to a drive system 30 as described for the first embodiment. A control system derives a required change in the position and/or orientation of its associated mirror to correct for the various positional and/or rotational errors of all the mirrors in the projection optics PL as measured by their associated positioning sensing systems 40. To this end, raw position signals from the various position sensing systems 40 are provided to the control system. Signal processing circuits within the control system perform appropriate processing of the signals and transform them as necessary to an appropriate coordinate system for the one (or more) mirror(s) 10 connected to a drive system 30.

One may choose to provide that (those) reflective element(s) with a drive system that are most critical in their position and/or orientation of the reflective elements comprised in the projection system. Further, a position sensing system for that (those) reflective element(s) that are not critical in their position and orientation may be dispensed with.

An embodiment alternative to the second embodiment comprises a sensing system that provides for a beam of light, preferably a laser beam, passed along the various reflective elements in projection system PL from the mask towards the substrate (or vice versa). Positional and/or orientational deviations of the various reflective elements results in a change in position of the laser beam when having passed the projection system, which can be detected using an appropriate two-dimensional detector such as a four-quadrant detector (quad cell), a two-dimensional positional sensing device or a CCD camera. To provide for a continuous feedback possibility, the two-dimensional detector can be fixedly

mounted on reference frame RF with respect to the projection system and the laser beam may be reflected from a position on the mask just next to its mask pattern, in which case the two-dimensional detector can be mounted out of the projection beam.

0039 Continuous feedback of positional and rotational deviations of the reflective elements, such as in the first, second and above alternative embodiment provides for the possibility to correct for position and/or rotation changes in the high, mid and low frequency domain. In case one only is interested in deviations and correcting in the low frequency domain, such as, for instance, induced by mechanical creep of mirror mounts, it is an option to employ a two-dimensional detector mounted on the substrate table and check the position of the laser beam at selected instance in time during an imaging process. A positional error induced by positional and/or rotational deviations of the reflective elements may also be corrected for by accounting for them in the positioning of the mask and/or substrate table.

Whilst we have described above specific embodiments of the invention, it will be appreciated that the invention may be practiced otherwise than described and the description is not intended to limit the invention. The positioning system of the present invention has been described as applied to a mirror in a lithographic projection apparatus.

However, the invention may also be applied to other components of a lithographic apparatus, such as the substrate (wafer) or mask (reticle) stages, or to components of other apparatus where accurate dynamic positioning is required.

4 Brief Description of Drawings

Fig. 1 depicts a lithographic projection apparatus according to the invention;

Fig. 2 is a diagram of a positioning system for a mirror according to a first embodiment of the invention; and

Figure 3 is a diagram used in explaining the effect of rotational errors in mirror position on image position at substrate.

Fig. 1

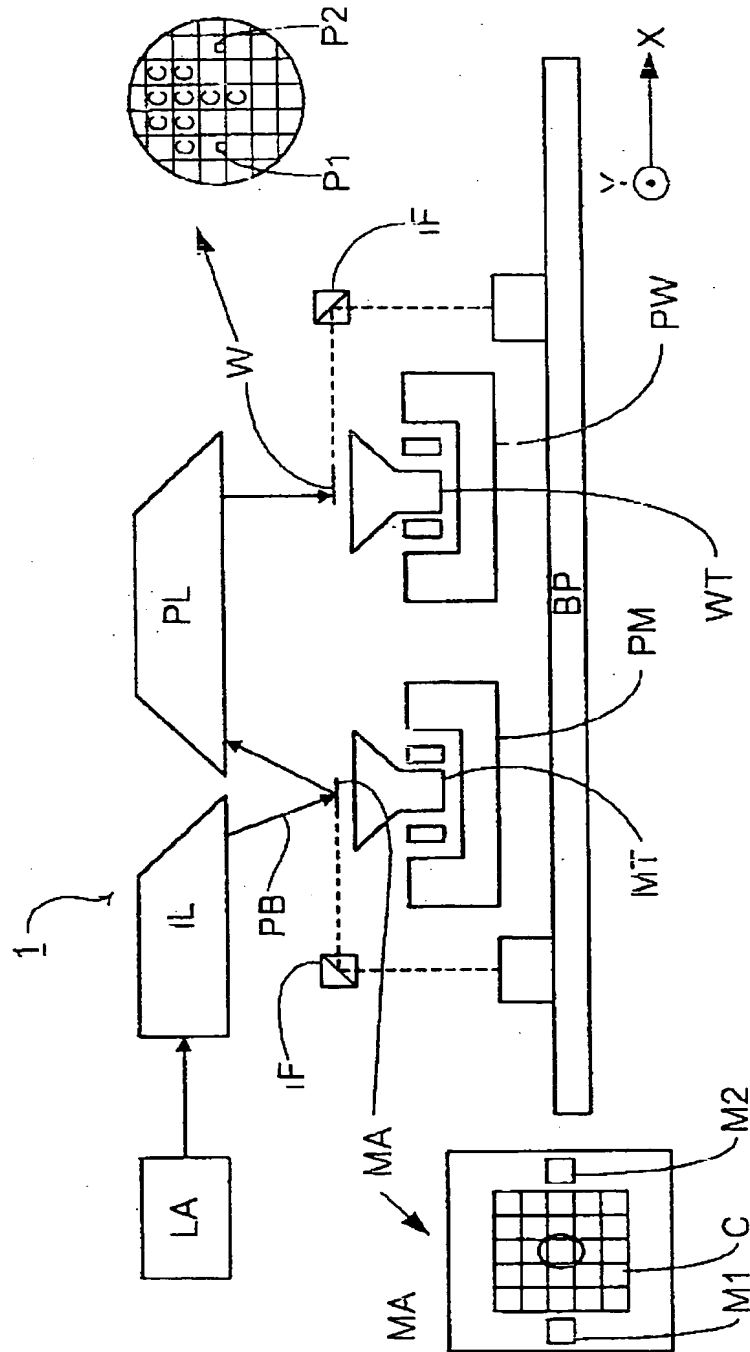


Fig. 2

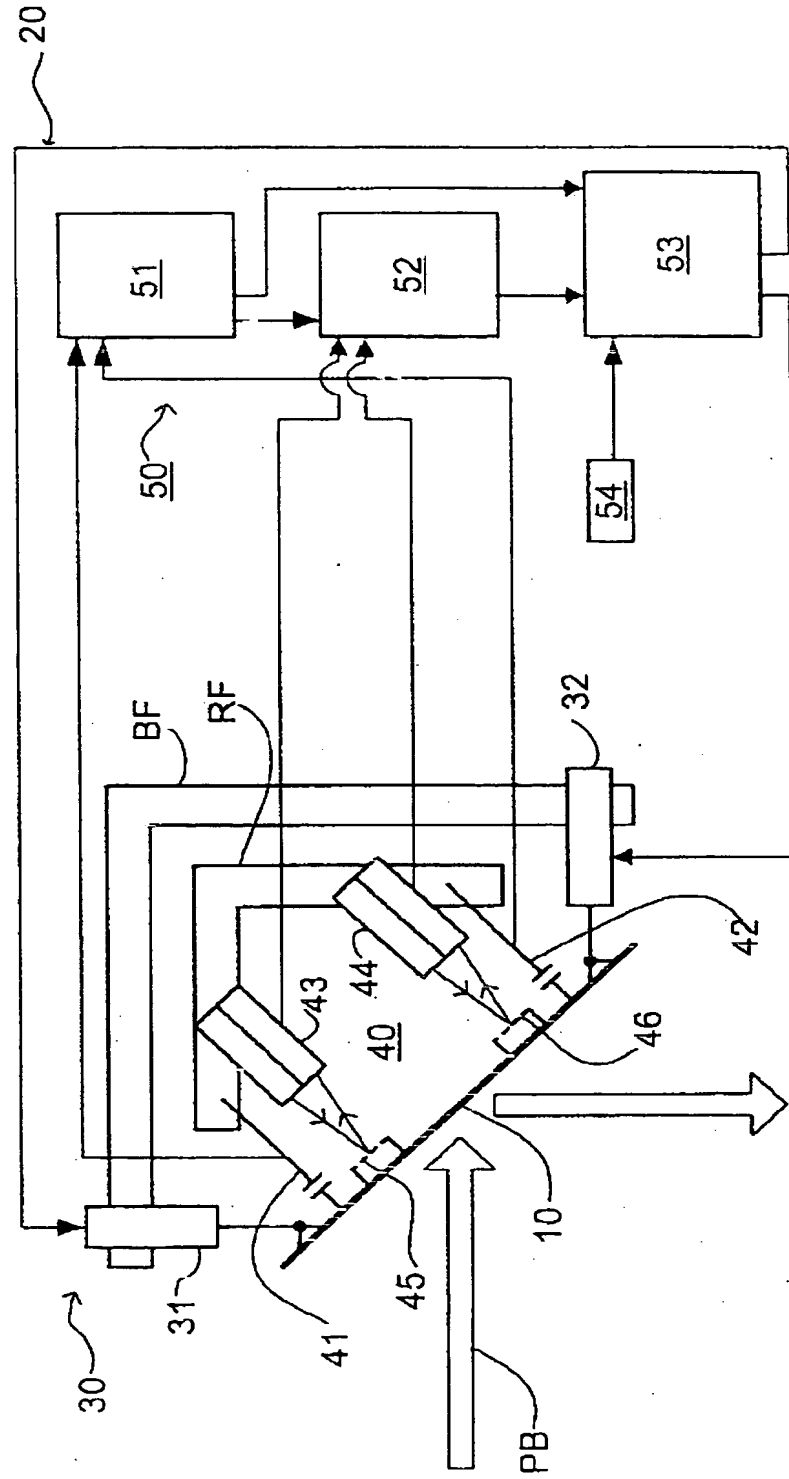
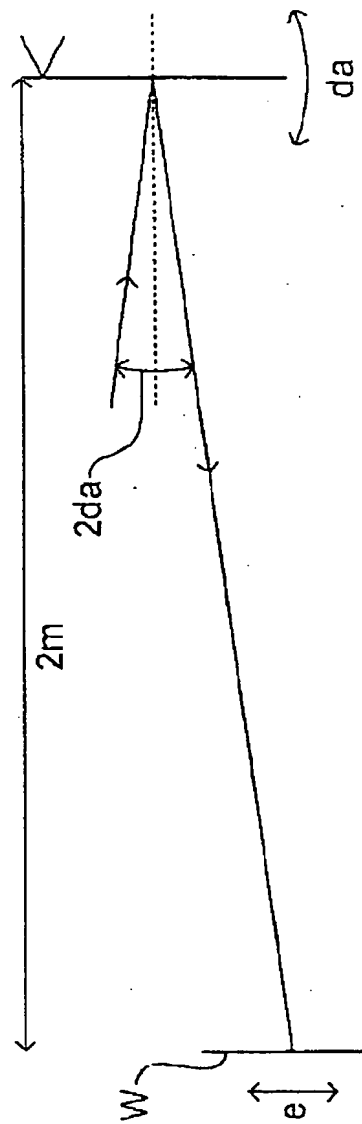


Fig. 3



1 Abstract

Lithographic Projection Apparatus with Positioning System for use with Reflectors

In a lithographic projection apparatus the positions and/or orientations of reflective optical elements is dynamically controlled. The position of a reflective optical element such as a mirror in an illumination or projection system is first measured using an absolute position sensor mounted on a reference frame and thereafter measured by a relative position sensor also mounted on said reference frame. The position of the element is controlled in accordance with the measured position, e.g. to maintain it stationary in spite of vibrations that might otherwise disturb it. The absolute sensor may be a capacitive or inductive sensor and the relative sensor may be an interferometer.

2 Representative Drawing

Figure 2